

ISSN (Print) 2616-6836  
ISSN (Online) 2663-1296

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

# ХАБАРШЫСЫ

---

**BULLETIN**

of L.N. Gumilyov Eurasian  
National University

**ВЕСТНИК**

Евразийского национального  
университета имени Л.Н. Гумилева

**ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ** сериясы

**PHYSICS. ASTRONOMY** Series

Серия **ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

№4(129)/2019

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

**Нұр-Сұлтан, 2019**

**Nur-Sultan, 2019**

**Нур-Султан, 2019**

*Бас редакторы:*  
ф.-м.ғ.д., профессор  
**А.Т. Ақылбеков** (Қазақстан)

*Бас редактордың орынбасары*

**Гиниятова Ш.Г.**, ф.-м.ғ.к., доцент  
(Қазақстан)

*Редакция алқасы*

<b>Арынгазин А.Қ.</b>	ф.-м.ғ. докторы(Қазақстан)
<b>Алдонгаров А.А.</b>	PhD (Қазақстан)
<b>Балапанов М.Х.</b>	ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
<b>Бахтизин Р.З.</b>	ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
<b>Даулетбекова А.Қ.</b>	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
<b>Ержанов Қ.К.</b>	ф.-м.ғ.к., PhD (Қазақстан)
<b>Жұмаділов Қ.Ш.</b>	PhD (Қазақстан)
<b>Здоровец М.</b>	ф.-м.ғ.к.(Қазақстан)
<b>Қадыржанов Қ.К.</b>	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
<b>Кайнарбай А.Ж.</b>	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
<b>Кутербеков Қ.А.</b>	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
<b>Лущик А.Ч.</b>	ф.-м.ғ.д., проф.(Эстония)
<b>Морзабаев А.К.</b>	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
<b>Мырзақұлов Р.Қ.</b>	ф.-м.ғ.д., проф.(Қазақстан)
<b>Нұрахметов Т.Н.</b>	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
<b>Сауытбеков С.С.</b>	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
<b>Салиходжа Ж.М.</b>	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
<b>Тлеукенов С.К.</b>	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
<b>Усеинов А.Б.</b>	PhD (Қазақстан)
<b>Хоши М.</b>	PhD, проф.(Жапония)

*Редакцияның мекенжайы:* 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Сәтбаев к-сі, 2, 402 б.,  
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті.  
Тел.: +7(7172) 709-500 (ішкі 31-428)  
E-mail: vest\_phys@enu.kz

*Жауапты хатшы, компьютерде беттеген:* А. Нұрболат

**Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.**  
**ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы**

Меншіктенуші: ҚР БЖҒМ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті" ШЖҚ РМК  
Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігінде 27.03.2018ж.  
№16999-ж тіркеу куәлігімен тіркелген.

Ашық қолданудағы электрондық нұсқа: <http://bulphysast.enu.kz/>

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Қажымұқан к-сі, 12/1, 349 б.,  
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. Тел.: +7(7172)709-500 (ішкі 31-428)

*Editor-in-Chief*

Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor  
**A.T. Akilbekov** (Kazakhstan)

*Deputy Editor-in-Chief*

**Giniyatova Sh.G.**, Candidate of Phys.-Math. Sciences,  
Assoc. Prof. (Kazakhstan)

*Editorial Board*

<b>Aryngazin A.K.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
<b>Aldongarov A.A.</b>	PhD (Kazakhstan)
<b>Balapanov M.Kh.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Russia)
<b>Bakhtizin R.Z.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Russia)
<b>Dauletbekova A.K.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences, PhD (Kazakhstan)
<b>Hoshi M.</b>	PhD, Prof. (Japan)
<b>Kadyrzhanov K.K.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
<b>Kainarbay A.Zh.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
<b>Kuterbekov K.A.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
<b>Lushchik A.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Estonia)
<b>Morzabayev A.K.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
<b>Myrzakulov R.K.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
<b>Nurakhmetov T.N.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
<b>Sautbekov S.S.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
<b>Salikhodzha Z. M</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
<b>Tleukenov S.K.</b>	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Prof. (Kazakhstan)
<b>Useinov A.B.</b>	PhD (Kazakhstan)
<b>Yerzhanov K.K.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences, PhD (Kazakhstan)
<b>Zdorovets M.</b>	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
<b>Zhumadilov K.Sh.</b>	PhD (Kazakhstan)

*Editorial address:* L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2, Satpayev str., of. 402,  
Nur-Sultan, Kazakhstan 010008  
Tel.: +7(7172) 709-500 (ext. 31-428)  
E-mail: vest\_phys@enu.kz

*Responsible secretary, computer layout:* A.Nurbolat

**Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University.**

**PHYSICS. ASTRONOMY Series**

Owner: Republican State Enterprise in the capacity of economic conduct "L.N. Gumilyov Eurasian National University" Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan.

Registration certificate №16999-ж from 27.03.2018.

Available at: <http://bulphysast.enu.kz/>

Address of printing house: L.N. Gumilyov Eurasian National University, 12/1 Kazhimukan str.,  
Nur-Sultan, Kazakhstan 010008;

tel.: +7(7172) 709-500 (ext. 31-428)

*Главный редактор:*  
доктор ф.-м.н.  
**А.Т. Акилбеков**, доктор ф.-м.н., профессор (Казахстан)

*Зам. главного редактора*

**Ш.Г. Гиниятова** к.ф.-м.н., доцент  
(Казахстан)

*Редакционная коллегия*

<b>Арынгазин А.К.</b>	доктор ф.-м.н.(Казахстан)
<b>Алдонгаров А.А.</b>	PhD (Казахстан)
<b>Балапанов М.Х.</b>	д.ф.-м.н., проф. (Россия)
<b>Бахтизин Р.З.</b>	д.ф.-м.н., проф. (Россия)
<b>Даулетбекова А.К.</b>	д.ф.-м.н., PhD (Казахстан)
<b>Ержанов К.К.</b>	к.ф.-м.н., PhD (Казахстан)
<b>Жумадилов К.Ш.</b>	PhD (Казахстан)
<b>Здоровец М.</b>	к.ф.-м.н.(Казахстан)
<b>Кадыржанов К.К.</b>	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
<b>Кайнарбай А.Ж.</b>	к.ф.-м.н. (Казахстан)
<b>Кутербеков К.А.</b>	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
<b>Лущик А.Ч.</b>	д.ф.-м.н., проф. (Эстония)
<b>Морзабаев А.К.</b>	д.ф.-м.н. (Казахстан)
<b>Мырзакулов Р.К.</b>	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
<b>Нурахметов Т.Н.</b>	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
<b>Сауытбеков С.С.</b>	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
<b>Салиходжа Ж.М</b>	к.ф.-м.н. (Казахстан)
<b>Тлеукунов С.К.</b>	д.ф.-м.н., проф. (Казахстан)
<b>Усеинов А.Б.</b>	PhD (Казахстан)
<b>Хоши М.</b>	PhD, проф. (Япония)

*Адрес редакции:* 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2, каб. 402, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева.  
Тел.: (7172) 709-500 (вн. 31-428)  
E-mail: vest\_phys@enu.kz

*Ответственный секретарь, компьютерная верстка:* А. Нурболат

**Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.**  
**Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

Собственник РГП на ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева" МОН РК  
Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан.

Регистрационное свидетельство №16999-ж от 27.03.2018г.

Электронная версия в открытом доступе: <http://bulphysast.enu.kz/>

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Кажимукана, 12/1, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева. тел.: +7(7172)709-500 (вн. 31-428)

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
ХАБАРШЫСЫ. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

№4(129)/2019

МАЗМҰНЫ

<i>Ибраева А.Д., Янсе А. Вуурен Ван, Скуратов В.А., Здоровец М.В.</i> Кристалды Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> -те латентті тректердің пайда болу энергиясының ионизациялық жоғалтуының шекті деңгейін анықтау	8
<i>Алдонгаров А.А., Асылбекова А.М., Иргибаетова И.С.</i> Кумарин бояғышымен байланысты CdS кластерлерінде электрондық ауысуларды есептеу	15
<i>Ермекова Ж.К., Алдонгаров А.А., Сағындықова Ғ.Е., Есманова С.С.</i> Педагогикалық мамандық студенттерінің сыни ойлауын дамыту	27
<i>Карипбаев Ж.Т., Абуова А.У., Алтысова Г.К., Сәрсенғалиева К.М., Байжолов К.А., Кукенова А.Б., Здоровец М.В.</i> Оттегі енгізілген ZnWO <sub>4</sub> кристалдарының люминесценциясы	33
<i>Кабышев А.М., Кутербеков К.А., Мұхамбетжан А.М., Нуржанов А.Б., Уәлшерев Д.Т., Бекмырза К.Ж., Рахимғалиева И.Т., Сарсенов Р.М., Махамбаева И.У.</i> 8-217 МэВ энергиясы кезінде <sup>28</sup> Si ядросында <sup>3</sup> He серпімді шашырауын зерттеу	42
<i>Мусаханов Д.А., Лисицын В.М., Карипбаев Ж.Т., Алтысова Г.К., Голковский М.Г., Даулетбекова А.К., Козловский А., Здоровец М.В.</i> Қуатты электронды ағынында синтезделген MgF <sub>2</sub> -WO <sub>2</sub> керамикасының құрылымы	51
<i>Каргин Д., Козловский А., Алтынов Е., Касымханов, А.Бисекен, Мухамбетов Д.</i> Болат илемдеу өндірісінің қосалқы өнімдер бөлшектерінің морфологиясы	59
<i>Мусатаева А.Б., Мырзақұлов Н.А.</i> Камасс-Холм теңдеуі үшін беттің бірінші және екінші фундаменталды формасы	65
<i>Серикбаев Н.С., Нугманова Г.Н., Мырзақұлов Р.</i> (2+1)-өлшемді Дэви-Стюартсон I теңдеуінің екікомпонентті жалпылануы I	73
<i>Ногай А.С., Кутербеков К.А., Ускенбаев Д.Е., Бекмырза К.Ж., Ногай А.А., Кабышев А.М.</i> Платинасыз катализаторлары бар нафион типті мембраналардағы жылу релаксациялық поляризациясының ерекшеліктері	80
<i>Нурсултанова Н.С., Жумадилов К.Ш.</i> Төмен доза әсер ету ықпалын бағалау мәселесі	86
<i>Шанина З.К.</i> Конно-Оно теңдеуінің дисперсиясыз шегі	93
<i>Шаханова Г.А.</i> Ақыл-ой карталарын оқу үдерісінде идеяларды қалыптастыру және құрылымдау әдісі ретінде қолдану	99
<i>Русақова А.В., Акилбеков А.Т., Жунусова М.К.</i> Нейтрондармен сәулеленген GaAs диэлектрлік қасиеттерін күйдіру	107

BULLETIN OF L.N. GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY. PHYSICS.  
ASTRONOMY SERIES

№4(129)/2019

CONTENTS

<i>Ibrayeva A.D., Janse A. Vuuren Van, Skuratov V.A., Zdorovets M.V.</i> About determination of the threshold ionization energy losses for the latent tracks formation in crystalline $\text{Si}_3\text{N}_4$	8
<i>Aldongarov A.A., Assilbekova A.M., Irgibaeva I.S.</i> Calculation of electronic transitions in CdS clusters associated with coumarin dye	15
<i>Ermekova Zh.K., Aldongarov A.A., Sagyndykova G.E., Esmanova S.S.</i> Development of critical thinking of students of pedagogical specialties	27
<i>Karipbaev Zh.T., Abuova A.U. Alpyssova G.K., Sarsengalieva K.M., Baozholov K.A., Kukenova A.B., Zdorovets M.V.</i> Luminescence of $\text{ZnWO}_4$ crystals with oxygen introduced	33
<i>Kabyshv A.M., Kuterbekov K.A., Mukhambetzhana A.M., Nurzhanov A.B., Ualsherov D.T., Bekmyrza K.Zh., Rakhimgaliyeva I.T., Sarsenov R.M., Makhambayeva .U.</i> Study of the elastic scattering of $^3\text{He}$ on the $^{28}\text{Si}$ nucleus at the energy of 8 -217 MeV	42
<i>Musahanov D., Lisitsyn V., Karipbaev Zh., Alpyssova G., Golkovskii M., Dauletbekova A., Kozlovskii A., Zdorovec M.</i> The structure of $\text{MgF}_2\text{-WO}_2$ ceramic synthesized in a powerful electron flow	51
<i>Kargin D., Kozlovskij A., Altynov E., Kasymhanov Zh., Biseken A., Muhambetov D.</i> Morphology of the particles of by-products of steel rolling production	59
<i>Mussatayeva A.B., Myrzakulov N.A.</i> The first and second fundamental forms for the Camassa-Holm equation	65
<i>Serikbayev N.S., Nugmanova G.N., Myrzakulov R.</i> On the Integrable Two-Component (2+1)-dimensional Davey-Stewartson Equation	73
<i>Nogay A.S., Kuterbekov K.A., Uskenbayev D.E., Bekmyrza K.Zh., Nogay A.A., Kabyshv A.M.</i> Features of thermal relaxation of polarization in the Nafion membranes with no platinum catalysts	80
<i>Nursultanova N., Zhumadilov K.</i> The problem of assessing the effects of low-dose exposure	86
<i>Shanina Z.K.</i> Dispersionless limit of the Konno-Oono equation	93
<i>Shakhanova G.A.</i> Mind maps as a method of generating and structuring ideas in the learning process	99
<i>Russakova A.V., Akilbekov A.T., Zhunusova M.K.</i> Annealing of dielectric properties of GaAs Crystals Irradiated by Neutrons	107

ВЕСТНИК ЕВРАЗИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ИМЕНИ Л.Н.ГУМИЛЕВА. Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

№4(129)/2019

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ибраева А.Д., Янсе А. Вуурен Ван., Скуратов В.А., Здоровец М.В.</i> К вопросу об определении порогового уровня ионизационных потерь энергии образования латентных треков в кристаллическом $\text{Si}_3\text{N}_4$	8
<i>Алдонгаров А.А., Асылбекова А.М., Иргибаетова И.С.</i> Расчет электронных переходов в кластерах CdS, связанных с кумариновым красителем	15
<i>Ермекова Ж.К., Алдонгаров А.А., Сагындыкова Г.Е., Есманова С.С.</i> Развитие критического мышления студентов педагогических специальностей	27
<i>Карипбаев Ж.Т., Абуова А.У., Алтысова Г.К., Сарсенгалиева К.М., Байжолов К.А., Кукенова А.Б., Здоровец М.В.</i> Люминесценция кристаллов $\text{ZnWO}_4$ с введенным кислородом	33
<i>Кабышев А.М., Кутербекоев К.А., Мухамбетжан А.М., Нуржанов А.Б., Уалшерев Д.Т., Бекмырза К.Ж., Рахимгалиева И.Т., Сарсенов Р.М., Махамбаева И.У.</i> Изучение упругого рассеяния $^3\text{He}$ на ядре $^{28}\text{Si}$ при энергии 8-217 МэВ	42
<i>Мусаханов Д.А., Лисицын В.М., Карипбаев Ж.Т., Алтысова Г.К., Голковский М.Г., Даулетбекова А.К., Козловский А., Здоровец М.В.</i> Структура керамики $\text{MgF}_2\text{-WO}_2$ , синтезированной в мощном потоке электронов	51
<i>Каргин Д., Козловский А., Алтынов Е., Касымханов, А.Бисекен, Д.Мухамбетов</i> Морфология частиц побочных продуктов сталепрокатного производства	59
<i>Мусатаева А.Б., Мырзакулов Н.А.</i> Первая и вторая фундаментальные формы поверхности для уравнения Камасса-Холма	65
<i>Серикбаев Н.С., Нугманова Г.Н., Мырзакулов Р.</i> О двухкомпонентном обобщении (2+1)-мерного уравнения Дэви-Стюартсона I	73
<i>Ногай А.С., Кутербекоев К.А., Ускенбаев Д.Е., Бекмырза К.Ж., Ногай А.А., Кабышев А.М.</i> Особенности тепловой релаксационной поляризации в мембранах типа нафион с без платиновыми катализаторами	80
<i>Нурсултанова Н.С., Жумадилов К.Ш.</i> Проблема оценки последствий воздействия низкой дозы облучения	86
<i>Шанина З.К.</i> Бездисперсионный предел уравнения Конно-Оно	93
<i>Шаханова Г.А.</i> Интеллект-карты как метод генерации и структурирования идей в учебном процессе	99
<i>Русакова А.В., Акилбеков А.Т., Жунусова М.К.</i> Отжиг диэлектрических свойств GaAs, компенсированного облучением нейтронами	107

Д. Каргин<sup>1</sup>, А. Козловский<sup>2</sup>, Е. Алтынов<sup>3</sup>, Ж. Касымханов<sup>1</sup>, А. Бисекен<sup>4</sup>,  
Д. Мухамбетов<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup> Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва,  
Россия

<sup>4</sup> Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан

<sup>5</sup> Алматинская академия экономики и статистики, Алматы, Казахстан

(E-mail: [kjb\\_orken@mail.ru](mailto:kjb_orken@mail.ru), [artem88sddt@mail.ru](mailto:artem88sddt@mail.ru), [martensit@mail.ru](mailto:martensit@mail.ru),

[kassymkhanov\\_zhs@enu.kz](mailto:kassymkhanov_zhs@enu.kz), [biseken48@mail.ru](mailto:biseken48@mail.ru), [dmukh@mail.ru](mailto:dmukh@mail.ru))

### Морфология частиц побочных продуктов сталепрокатного производства

**Аннотация:** В настоящей работе представлены результаты исследования морфологических свойств побочных продуктов сталепрокатного производства - прокатной окалина и оксидного порошка, полученного распылительным пиролизом отработанного травильного раствора. В качестве исходного объекта исследования использовалась нелегированная малоуглеродистая сталь, содержащая минимальное количество примесей. Исследование структурных характеристик и элементного состава побочных продуктов проводилось с использованием растрового электронного микроскопа Hitachi TM3030 с системой микроанализа Bruker XFlash MIN SVE при ускоряющем напряжении 15 кВ. Установлено, что прокатная окалина состоит из мелких частиц размером от долей мкм до ~100 мкм, представляющих собой конгломераты пористых шарообразных структур с диаметром в пределах примерно от 100 до 300 нм. Порошкообразный гематит, полученный из отработанного травильного раствора представляет собой полые микрочастицы сферической формы, средний размер которых составляет 120-140 мкм.

**Ключевые слова:** морфология, прокатная окалина, оксиды железа, отработанный травильный раствор, распылительный пиролиз.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2019-129-4-59-64>

**Введение.** Основой промышленного производства современной индустрии и важнейшим продуктом черной металлургии является сталь. Широкое использование стали в различных отраслях промышленности определяет стабильный рост ее производства в мире [1]. Соответственно, растет и объем побочных продуктов, сопровождающих производство стали. Поэтому исследование возможностей их переработки с целью повышения добавленной стоимости является актуальной задачей.

К побочным продуктам относится дополнительная продукция, образующаяся при производстве основной продукции и не являющаяся целью данного производства, но пригодная как сырье в другом производстве или для потребления в качестве готовой продукции [2]. В процессе горячей прокатки стальной полосы при  $T \sim 1200^\circ \text{C}$  на ее поверхности образуются оксидные слои, называемые прокатной окалиной. Ее толщина составляет порядка 0.5 мм и она сильно сцеплена с поверхностью стали. Непосредственно к поверхности металла прилегает вьюстит  $\text{FeO}$ , наружный слой окалина представляет собой гематит  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , между ними находится магнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Для последующей обработки стальной полосы (холодной прокатки, нанесения защитного покрытия и др.) окалину необходимо удалить. Очистка полосы обычно проходит в два этапа. На первой стадии частицы окалина откалываются от поверхности стальной полосы при ее изгибе в окалиноломателях [4].

На втором этапе полосу пропускают через ванну с водным раствором соляной кислоты, в которой остатки оксидов железа растворяются в ней с образованием хлорида железа  $\text{FeCl}_2$ . Далее отработанный травильный раствор подвергается процессу распылительного обжига в печи при  $T=600^\circ \text{C}$ , при котором хлорид железа термически разлагается на микрочастицы гематита  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  и газообразный хлорид водорода  $\text{HCl}$  [3, 4]. Пары соляной кислоты



извлекаются из верхней части печи и используются для повторного травления. Частицы оксида железа  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  осаждаются на дне печи и пневматически транспортируются в бункер [4]. Дисперсный порошок гематита имеет высокую чистоту, благодаря чему он является ценным материалом для производства промышленных товаров.

В работе [5] рассмотрены предпосылки использования прокатной окалины в качестве сырьевого материала для производства железного порошка. Исследовано влияние свойств прокатной окалины и режимов восстановления на морфологию частиц железного порошка, предназначенного для получения спеченных изделий различного функционального назначения. Фазовый состав исходного сырья и готового продукта определяли с применением установки ДРОН-2. Химический состав материалов определяли с применением метода масс-спектрологии. Морфологию частиц окалины и железного порошка определяли с применением средств растровой электронной микроскопии. Для синтеза восстановленного порошка железа использовали окалину трубoproкатного цеха. Установлено, что из рассмотренных факторов процесса получения железного порошка наиболее значительное влияние на исследуемую функцию отклика имеют скорость размола прокатной окалины и время восстановления. Это подтверждают как математические расчеты, так и результаты экспериментальных исследований морфологии частиц железного порошка при помощи средств растровой электронной микроскопии.

В работе [6] приведены результаты исследования физико-химических характеристик прокатной окалины и обезвоженного шлама газоочистки кислородно-конвертерного производства, выполненного для оценки технологической целесообразности применения их в процессах металлизации. Исследования проведены с использованием стандартных методик определения химического, фазового, гранулометрического составов и плотности мелкозернистых и порошкообразных материалов. Полученные результаты подтверждают технологическую целесообразность использования мелкозернистой окалины в процессах металлизации, включающих их предварительное брикетирование в составе композиции с углеродистым восстановителем.

Частицы магнетита были химически синтезированы из отходов горячей прокатки сталелитейной промышленности [7]. Характеристика синтезированного магнетита была выполнена с использованием инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье, сканирующей электронной микроскопии, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии и рентгеновской дифракции. Синтезированные частицы магнетита были использованы для адсорбционного удаления арсената из загрязненной воды. Адсорбционная способность частиц магнетита была успешно восстановлена с помощью щелочной очистки. Было обнаружено, что вновь синтезированные частицы эффективны для удаления арсената до 5 раз при регенерации. Синтез магнетита из сырья в мельнице и его применение для адсорбции арсената является экономически эффективным и экологически безопасным процессом. Возможности получения железа путем восстановления прокатной окалины, представляющей собой отходы, образующиеся при промышленной обработке стали показаны в работе [8].

Целью данной работы является исследование морфологии побочных продуктов сталепрокатного производства: прокатной окалины и гематита, получаемых после очистки горячекатаной полосы для последующей обработки.

**Результаты и обсуждение.** В настоящей работе были исследованы вторичные продукты, получаемые после горячей прокатки нелегированной стали. Нелегированная сталь не имеет легирующих элементов, которые добавляются при выплавке стали [4]. Такая сталь содержит только природные компоненты, поэтому она является самой чистой среди других сталей (таблица 1).

Таблица 1 - Химический состав нелегированной стали различных вариантов выплавки [4].

Варианты выплавки	Содержание элементов, 10 <sup>-2</sup> масс.%								
	Mn	Si	C	S	P	Al	Ti	Cr	Ni+Cu
Полуспокойная сталь	35-55	2-7	4.0	2.5	5.0	-	0.6	8	35
Спокойная сталь	30-50	14-40	4.0	2.5	5.0	1.0	-	8	35

Исследование структурных характеристик и элементного состава побочных продуктов проводилось с использованием растрового электронного микроскопа (РЭМ) Hitachi TM3030 с системой микроанализа Bruker XFlash MIN SVE при ускоряющем напряжении 15 кВ.

На рисунке 1 представлены РЭМ - изображения обезмасленной прокатной окалины при различных увеличениях.

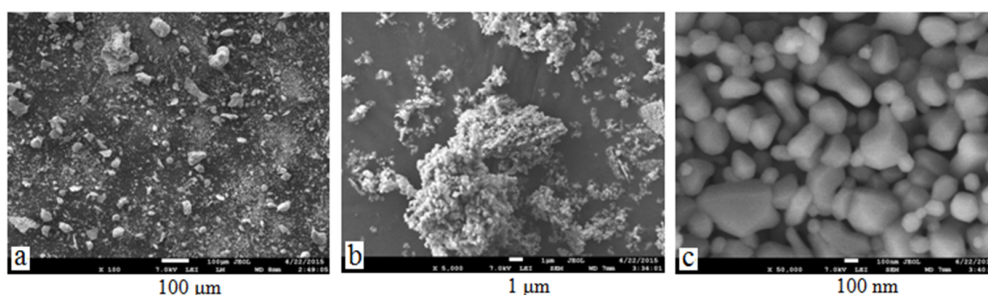


Рисунок 1 – РЭМ - изображения прокатной окалины при различных увеличениях: а-100x; б-5000x; с-50000x

Из рисунка 1а видно, что прокатная окалина состоит из мелких частиц размером от долей мкм до ~100 мкм. Сами эти частицы, как видно из рисунков 1б и 1с, представляют собой конгломераты пористых шарообразных структур с диаметром в пределах примерно от 100 до 300 нм.

Для изучения возможностей управления фазовым составом прокатной окалины образцы отжигались в воздухе при температуре T=400 °C в течение 1 часа. Результаты энергодисперсионного анализа образцов представлены на рисунке 2.

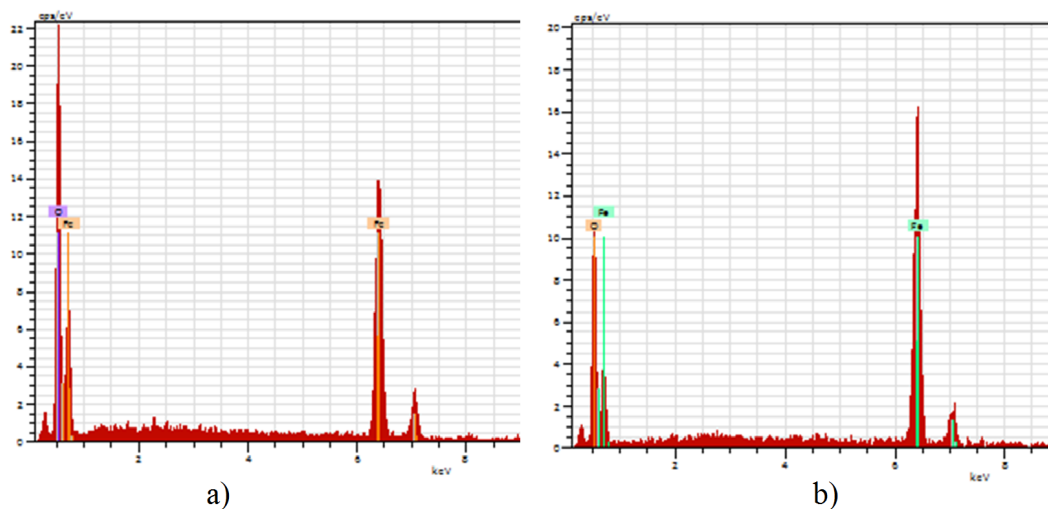


Рисунок 2 – ЭДА - спектры образцов прокатной окалины: а-исходный образец прокатной окалины, образовавшийся при горячей прокатке при T=1200 °C; б-образец прокатной окалины после отжига при T=400 °C в течении 1 час

Согласно диаграмме состояния железо-кислород и стехиометрическим уравнениям, полученным на основе данных ЭДА (рисунок 2), в исходном образце прокатной окалины,

сформированной при горячей прокатке ( $T=1200^{\circ}\text{C}$ ), содержатся оксиды железа  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Как видно из полученных спектров на рисунках 2а и 2б в результате отжига происходит снижение оксидных соединений на 12 процентов (рисунок 3). Это обусловлено тем, что при  $T=400^{\circ}\text{C}$  согласно диаграмме состояния Fe-O происходит распад  $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe} + \text{O}$ , при котором кислород покидает твердую фазу.

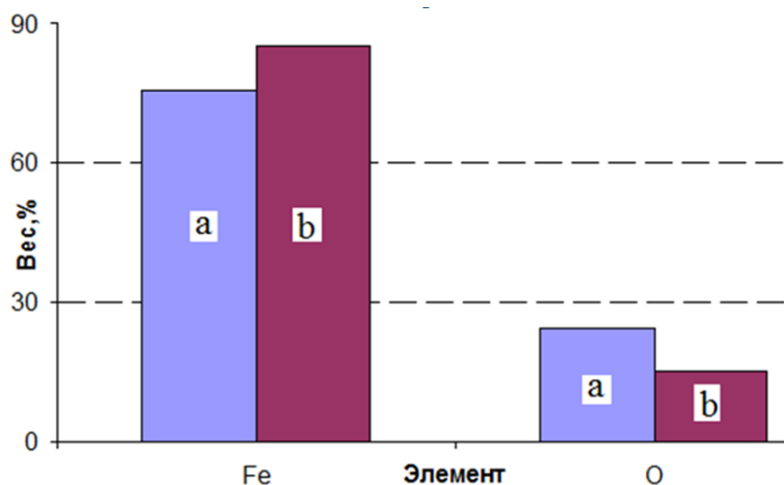


Рисунок 3 – Содержание железа и кислорода в образцах прокатной окалины до (а) и после отжига (б)

Была исследована также морфология другого побочного продукта - порошка оксида железа (III), полученного из отработанного травильного раствора. На рисунке 4 представлены изображения микрочастиц, внутренней и внешней поверхности их оболочек, а также спектр энергодисперсионного анализа исследуемого оксидного порошка.

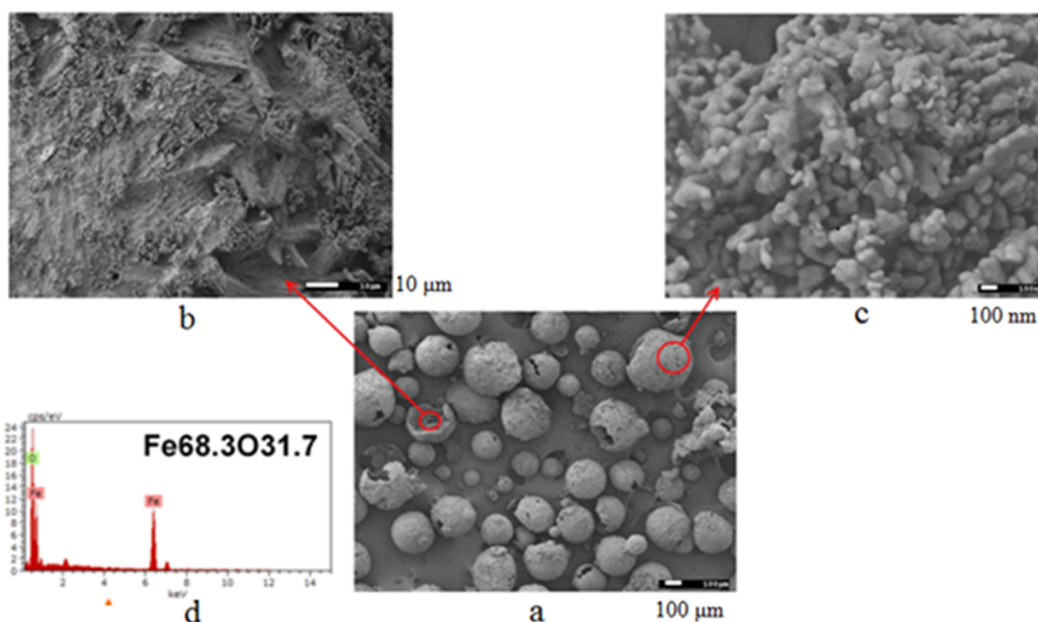


Рисунок 4 – РЕМ - изображения полых микросфер гематита, полученного из отработанного травильного раствора: а - общий вид; б – внутренняя, с – внешняя поверхность оболочек микросфер; d - энергодисперсионный спектр поверхности микросфер

Как видно из рисунка 4а анализируемый порошок представляет собой полые микрочастицы сферической формы, средний размер которых составляет 120-140 мкм. Внутренняя поверхность оболочек сфер состоит из скоплений продолговатых частиц перьевидной формы (рисунок 4б). Внешняя поверхность оболочек микросфер (рисунок 4с) образована скоплениями наночастиц, средний размер которых равен 120 нм. На основе анализа энергодисперсионного спектра этих частиц (рисунок 4д) установлено, что их химический состав соответствует стехиометрическому уравнению  $Fe_2O_3$ , т.е. поверхность микросфер образована скоплениями наночастиц гематита. Эти данные согласуются с результатами рентгеноструктурного анализа [4].

**Заклучение.** В данной статье представлены результаты электронно-микроскопических исследований частиц побочных продуктов сталепрокатного производства: обезмасленной прокатной окалины и гематита, полученного путем распылительного обжига отработанного травильного раствора. Выявлены особенности морфологии, структуры и состава исследуемых материалов, которые могут быть использованы для изучения возможностей переработки побочных продуктов сталепрокатного производства.

### Список литературы

- 1 Kargin D.B, Konyukhov Y.V, Nguyen Van Min, Mukhambetov D.G, Kozlovskiy A.L, Kassymkhanov Z.S. Economic feasibility of by-products processing of metallurgical production// Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. Physics. Astronomy Series. - 2018. - 4(125).- С. 25-34.
- 2 Побочный продукт. [Электронный ресурс]. - URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/stroitel/10627> (дата обращения: 11.05.2019).
- 3 Agrawal Aditya, Naman Navneet, Dubey Sanjeev Kumar. A review on regeneration process of waste pickling acid at steel industries//International Journal of Engineering Research and Reviews - 2014.- Vol. 2. -Issue 4. - P. 70-73.
- 4 Kargin D.B., Mukhambetov D.G., Kozlovskiy A.L. Hollow hematite particles synthesized by spray pyrolysis of the spent pickling solution//Sciences of Europe. - 2017. - Vol. 2. - № 18. - P. 78-80.
- 5 Внуков А. А., Головачев А. Н., Белая А. В. Влияние параметров переработки прокатной окалины на морфологию частиц восстановленного железного порошка// Технологический аудит и резервы производства - 2016. - 6(1). - С. 4-8.
- 6 Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В. Исследование физико-химических характеристик оксиджелезосодержащего техногенного сырья // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации - 2018. - № 9. - С.107-112.
- 7 Muhammad Kashif Shahid, San Phearom, Young-Gyun Choi Synthesis of magnetite from raw mill scale and its application for arsenate adsorption from contaminated water //Chemosphere - 2018. - Vol. 203- P. 90-95.
- 8 Tamires C. Costa, Petrick A. Soares, Carlos E.M. Campos, Antonio A.U. Souza, Vitor J.P.Vilar, Selene M.A. Guelli U. Souza Industrial steel waste as an iron source to promote heterogeneous and homogeneous oxidation/reduction reactions// Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 211. P. 804-817.

Д.Каргин<sup>1</sup>, А.Козловский<sup>2</sup>, Е.Алтынов<sup>3</sup>, Ж.Касымханов<sup>1</sup>, А.Бисекен<sup>4</sup>, Д.Мухамбетов<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>2</sup> Ядролық физика институты, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>3</sup> Ұлттық ғылыми-технология университеті, Мәскеу, Ресей

<sup>4</sup> Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>5</sup> Алматы экономика және статистика академиясы, Алматы, Қазақстан

### Болат илемдеу өндірісіндегі қосалқы өнімдердің бөлшектерінің морфологиясы

**Аңдатпа.** Бұл мақалада болат илемдеу өндірісінің қосалқы өнімдерінің морфологиялық қасиеттерін зерттеу нәтижелері келтірілген - илемдеу отқақ және пайдаланылған қышқыл ерітіндідегі пиролиздің шашырауымен алынған оксид ұнтағы. Зерттеудің бастапқы нысаны ретінде легірілбеген төменгі көміртекті болатта қоспалардың минималды мөлшері бар. Зерттеу өнімдердің құрылымдық сипаттамаларын және элементтік құрамын зерттеу Hitachi TM3030 сканерлеу электронды микроскопын 15 кВ жеделдетілген кернеуі бар Bruker XFlash MIN SVE микроанализ жүйесімен жүргізілді. Прокатная окалина микрондардың фракцияларынан ~100 микронға дейін мөлшерде болатын шағын бөлшектерден тұрады, олар диаметрі шамамен 100-ден 300 нм аралығында кеуекті сфералық құрылымдардың конгломераттары болып табылады. Ұнтақ ерітіндісінен алынған ұнтақты гематит - орташа мөлшері 120-140 мкм болатын сфералық пішіндегі қуыс микробөлшектер.

**Түйін сөздер:** морфология, илемдеу отқақ, темір оксидтері, пайдаланылған қышқыл ерітінді, спрей пиролизі.

D. Kargin<sup>1</sup>, A. Kozlovskij<sup>2</sup>, E. Altynov<sup>3</sup>, Zh. Kasymkhanov<sup>1</sup>, A. Biseken<sup>4</sup>, D. Muhambetov<sup>5</sup>

<sup>1</sup> L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>2</sup> Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup> National Research Technological University "MISiS", Moscow, Russia

<sup>4</sup> Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan

<sup>5</sup> Almaty Academy of Economics and Statistics, Almaty, Kazakhstan

### Morphology of the particles of by-products of steel rolling production

**Abstract.** This paper presents the results of the study of the morphological properties of the by-products of steel rolling production - mill scale and oxide powder obtained by spray pyrolysis of spent pickling solution. Non-alloyed low-carbon steel containing the minimum amount of impurities was used as the initial object of study. The study of the structural characteristics and elemental composition of by-products was carried out using a Hitachi TM3030 scanning electron microscope with a Bruker XFlash MIN SVE microanalysis system with an accelerating voltage of 15 kV. It has been established that mill scale consists of small particles ranging in size from fractions of a micron to ~100 microns, which are conglomerates of porous spherical structures with a diameter in the range from about 100 to 300 nm. Powdered hematite obtained from spent pickling solution is a hollow microparticle of spherical shape, the average size of which is 120-140 microns.

**Keywords:** morphology, mill scale, iron oxides, spent pickling solution, spray pyrolysis.

### References

- 1 Kargin D.B, Konyukhov Y.V, Nguyen Van Min, Mukhambetov D.G, Kozlovskiy A.L, Kassymkhanov Z.S. Economic feasibility of by-products processing of metallurgical production, Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. Physics. Astronomy Series, 25(4),25-34 (2018).
- 2 Pobochniy product [By-product]. Available at: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/stroitel/10627> (accessed: 11.05.2019).
- 3 Agrawal Aditya, Naman Navneet, Dubey Sanjeev Kumar. A review on regeneration process of waste pickling acid at steel industries, International Journal of Engineering Research and Reviews, 2(4), 70-73 (2014).
- 4 Kargin D.B., Mukhambetov D.G., Kozlovskiy A.L. Hollow hematite particles synthesized by spray pyrolysis of the spent pickling solution, Sciences of Europe, 2 (18), 78-80 (2017).
- 5 Vnukov A., Golovachev A., Belaya A. Vliyanie parametrov pererabotki prokatnoy okaliny na morfologiu chastits vosstanovlennogo zheleznogo poroshka [Effect of mill scale processing parameters on the morphology of reduced iron powder particles], Tekhnologicheskii audit i rezervy proizvodstva, [Technological audit and production reserves], 6 (1), 4-8 (2016). DOI: 10.15587/2312-8372.2016.85866. [in Russian].
- 6 Anikin A., Galevskiy G., Pudneva V. Issledovanie fiziko-khimicheskikh khaarakteristic oksidgelezosodergacego tekhnogennogo syrya [Study of physical and chemical properties of iron oxides-containing man-caused raw materials sinter production], Chernaya metallurgiya. Bulletin nauchno-tekhnicheskoy i ekonomicheskoy informacii, [Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information], 9,107-112 (2018). DOI: <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2018-9-107-112>. [in Russian].
- 7 Muhammad Kashif Shahid, San Phearom, Young-Gyun Choi Synthesis of magnetite from raw mill scale and its application for arsenate adsorption from contaminated water, Chemosphere, 203, 90-95 (2019).
- 8 Tamires C. Costa, Petrick A. Soares, Carlos E.M. Campos, Antonio A.U. Souza, Vitor J.P.Vilar, Selene M.A. Guelli U. Souza Industrial steel waste as an iron source to promote heterogeneous and homogeneous oxidation/reduction reactions//Journal of Cleaner Production, 211, 804-817 (2019).

#### Сведения об авторах:

*Каргин Д.* – директор департамента коммерциализации технологий, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

*Козловский А.* – PhD, заведующий лабораторией физики твердого тела, Институт ядерной физики, пр. Абылай хана, 2/1, Нур-Султан, Казахстан.

*Алтыннов Е.* – аспирант кафедры «Функциональные наносистемы и высокотемпературные материалы, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», пр. Ленина, 4, Москва, Россия.

*Кассымханов Ж.* – начальник отдела инновационной и патентной работы, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Нур-Султан, Казахстан.

*Бисекен А.* – доцент кафедры энергетики, Алматинский университет энергетики и связи, ул. Байтурсынулы, 126/1, Алматы, Казахстан.

*Мухамбетов Д.* – профессор кафедры информационных систем, Алматинская академия экономики и статистики, ул. Жаңдосова, 59, Алматы, Казахстан.

*Kargin D.* – Director of Technologies Commercialization Department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev Str., 2, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Kozlovskiy A.* – PhD, Head of the Laboratory of Solid State Physics, Institute of Nuclear Physics, Abilaikhan av. 2/1, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Altynov E.* – Graduate student of the Department "Functional nanosystems and high-temperature materials", National Research Technological University "MISIS", Lenin av., 4, Moscow, Russia

*Kassymkhanov Z.S.* – Head of Innovation and Patent Activity Department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev Str., 2, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Biseken A.* – Assistant professor of Power Engineering Department, Almaty University of Power Engineering Telecommunications, Baitursynuly street, 126/1, Almaty, Kazakhstan.

*Mukhambetov D.* – Professor of Information Systems Department, Almaty Academy of Economics and Statistics, Zhandosov Str., 59, Almaty, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 25.09.2019